

# VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Estimación de las necesidades hídricas de la papaya utilizando la aproximación de los coeficientes culturales duales

Y. Chaterlán<sup>1,2</sup>, P. Paredes<sup>2</sup>, R. Rosa<sup>2</sup>, G. Hernández<sup>1</sup>, T. López<sup>1</sup>, L.S. Pereira<sup>2</sup>.

1. IAgriC – Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba [ycharterlan@yahoo.es](mailto:ycharterlan@yahoo.es)

2. CEER – Biosystems Engineering, Institute of Agronomy, Technical Univ. of Lisbon, Portugal; [ls pereira@isa.utl.pt](mailto:ls pereira@isa.utl.pt)

### Resumen

Considerando el incremento de la actividad de riego en el cultivo de la papaya durante los últimos años, resulta de interés el conocimiento de los elementos técnicos y agronomicos necesarios para una adecuada programación del riego a partir de la estimación de las necesidades hídricas del cultivo. Para esto se utilizó el modelo SIMDualKc el cual efectúa el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y la programación del riego a partir de la metodología de los coeficientes culturales duales ( $K_c = K_{cb} + K_e$ ). La investigación fue realizada en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, situada en Alquízar, provincia La Habana, Cuba. Los experimentos fueron desarrollados entre el período Marzo-Noviembre 1997. Se utilizó la Papaya var. "Maradol roja". La calibración consistió en la búsqueda de los coeficientes culturales basales para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo reduciendo al mínimo las diferencias entre los valores simulados y observados del contenido de humedad del suelo. Fue evaluada la bondad de ajuste de las predicciones del modelo, realizándose una serie de análisis estadísticos. Se puede concluir que el modelo puede ser utilizado para la generación de calendarios alternativos de riego destinados a mejorar el ahorro de agua y la productividad de la papaya en estas condiciones edafoclimáticas.

**Palabras claves:** evaporación, transpiración, balance de agua en el suelo, modelación, programación del riego.

### Abstrac

The use of irrigation in the cultivation of papaya is increasing in recent years. Thus, there is the need for improved knowledge of the most appropriate irrigation scheduling practices to be adopted as well as the more adequate estimation of crop water requirements. With this objective, the simulation model SIMDualKc was adopted and calibrated. The model performs the calculation of crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) with the methodology of the dual crop coefficient ( $K_c = K_{cb} + K_e$ ), i.e., using a basal crop coefficient to estimate crop transpiration and an evaporation coefficient to estimation soil water evaporation. The research was conducted at the Experimental Station of Irrigation and Drainage, located in Alquízar, Havana, Cuba. The experiments were carried out between March and November 1997 with the papaya var. "Maradol red". The calibration consisted in searching the crop factors relative to the different stages of crop development that minimize the differences between the simulated and observed soil moisture content. Various goodness of fit indicators were used to evaluate the model predictions. It can be concluded that the model was properly calibrated and can be used to generate alternative irrigation schedules that improve water use and productivity of papaya in the considered soil and climate conditions.

**Keywords:** evaporation, transpiration, soil water balance, modeling, irrigation scheduling.

## Introducción

La Papaya (*Carica papaya* L.), más conocida en Cuba como *Fruta Bomba*, es una planta de origen tropical, específicamente de la región Centroamericana (Sur de México). Debido a esto, está adaptada a los regímenes pluviométricos de esta región, y no tolera déficits hídricos prolongados, por lo que la irrigación en las áreas con baja pluviometría puede llegar a duplicar los rendimientos respecto a las áreas sin riego. Los factores ambientales como la temperatura (Campostrini y Glenn, 2007), la velocidad del viento, el estrés hídrico (Marler y Clemente, 2006) y las características químicas y físicas de los suelos afectan su fisiología y su productividad (Campostrini y Glenn, 2007).

El déficit de agua en este cultivo limita el crecimiento de las plantas favoreciendo la producción de flores masculinas (Terra de Almeida et al, 2003; dos Santos et al, 2008) y la reducción de la producción de frutos (Aiyelaagbe et al, 1986; Kruger y Mostert, 2007). A su vez, el exceso de riego afecta a la absorción de nutrientes, favorece su lixiviación, disminuye la disponibilidad de oxígeno en la zona radicular, y aumenta la propensión a las plagas y enfermedades (Campostrini y Yamanishi, 2001; Campostrini y Glenn, 2007). Por lo tanto, las buenas prácticas de gestión de riego en el cultivo de la papaya deben de estar referidas al manejo de escenarios con exceso y déficit de humedad del suelo.

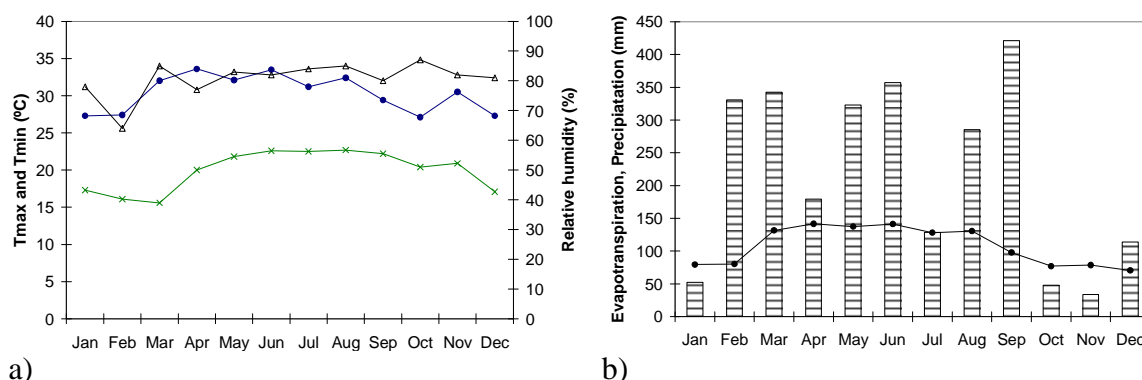
El cálculo de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), utilizando la metodología de los coeficientes culturales medios ( $K_c$ ) ofrece resultados satisfactorios para los cálculos con diferentes espacios de tiempo, incluyendo la estimación de la evapotranspiración diaria para la mayoría de las aplicaciones (Pereira, 2004). Sin embargo, para el riego de alta frecuencia, como es el caso del riego por goteo, y para cultivos con cobertura parcial del suelo, como es el caso de los frutales y las hortalizas, así como las regiones con precipitaciones frecuentes, el uso de la metodología de los coeficientes de cultivo duales permite producir estimaciones más precisas de la evapotranspiración de la cultura (Allen et al., 2005a). De hecho, dividir el coeficiente cultural ( $K_c$ ) en los componentes de evaporación del suelo ( $K_e$ ) y del coeficiente cultural basal ( $K_{cb}$ ) permite una mejor percepción de las fracciones de agua, provenientes de la precipitación o del riego, utilizadas por el cultivo, así como evaluar las ventajas de mantener una fracción del suelo seca o la utilización de mulches para controlar la evaporación del suelo ( $E$ ).

El modelo SIMDualKc (Rosa et al., 2010), considera de forma separada la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo, analizando el modo como el agua de la precipitación y el agua de riego son utilizadas por el cultivo. SIMDualKc efectúa el balance hídrico del suelo a nivel de la parcela utilizando periodos de tiempo diarios y ofreciendo diferentes aproximaciones para estimar la percolación profunda, la ascensión capilar y el escurrimiento superficial. El modelo permite simular la utilización de *mulches* y de coberturas vegetales activas. Resultados sobre la determinación de los coeficientes duales, la fracción de agua de suelo que puede ser extraída sin stress, el agua fácilmente evaporable ( $REW$ ) y el agua total evaporable o lámina máxima de agua que puede ser evaporada en el suelo ( $TEW$ ) para el cultivo de la papaya en las condiciones del área de estudio, que hasta la fecha no han sido considerados en este tipo de cultivos frutícolas y no están disponibles en la literatura; son estimadas a partir de la calibración del modelo para su posterior utilización en la gestión de alternativas de programación de riego en condiciones de escasez de agua.

El objetivo de este trabajo consiste en estimar las necesidades de agua del cultivo utilizando la metodología de los coeficientes culturales duales con el fin de mejorar la gestión del riego y generar calendarios alternativos de riego que conduzcan a mejorar el uso y la productividad del agua.

## Materiales y Métodos

La investigación fue realizada en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, situada en el municipio Alquizar, provincia La Habana (latitud 22° 46' N, longitud 82° 37' N y 6 m de altura). Los experimentos que la conforman fueron desarrollados durante el período comprendido entre Marzo y Noviembre 1997. La caracterización climática para este año se presenta en la Fig. 1. La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) fue calculada utilizando el método de FAO-PM (Allen et al., 1998). Este año se considera un año húmedo, con precipitaciones anuales de 2118 mm, que van desde 34 hasta 421 mm  $\text{mes}^{-1}$ .



**Figura 1.** Climatic data: a) maximum (—●—) and minimum (—×—) temperature, and mean relative humidity (—△—), b) monthly precipitation (▨) and monthly reference evapotranspiration,  $ET_o$  (—●—).

El suelo donde se realizó la investigación está clasificado como Ferralítico rojo compactado, o Rhodic Ferralsol según FAO/UNESCO, el cual se caracteriza por ser arcilloso, profundo y permeable. Las observaciones del potencial hídrico del suelo se realizaron con tensiómetros a 0.20, 0.40 y 0.60 m, con 3 repeticiones en cada profundidad (Hernández et al., 2003). Los datos referentes al contenido de agua en el suelo se obtuvieron a través del modelo de Van Genuchten (López, 1996). Se utilizó la Papaya (Carica papaya L) var. "Maradol roja", la cual se caracteriza por ser un arbusto de porte mediano y tallo fuerte, con flores predominantes del tipo IV (Elongata), con frutos de tamaño mediano en un marco de 1.5 m entre plantas por 3.6 m entre hileras, lo que propició una densidad de 1851 plantas/ha. En este caso de estudio se utilizó el riego localizado de alta frecuencia, debido a los altos niveles de humedad que permite mantener en el suelo y los ahorros de agua y energía que logra. En la Tabla 1 se muestran las fechas y los valores de las cantidades de riego aplicadas.

**Tabla 1.** Calendario de riego aplicado.

Fechas	Cantidad del riego (mm)	Fechas	Cantidad del riego (mm)
09/05/1997	17.3	02/07/1997	20.2
26/05/1997	12.4	12/07/1997	20.6
31/05/1997	8.9	17/07/1997	6.1
06/06/1997	6.7	09/08/1997	13.7
21/06/1997	28.1	27/08/1997	10.2
27/06/1997	6.1	22/10/1997	6.1

El modelo SIMDualKc calcula la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) utilizando la estimación de los coeficientes culturales duales (Allen et al., 1998, 2005b):

$$ET_c = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (1)$$

onde  $K_{cb}$  es el coeficiente cultural basal,  $K_e$  es el coeficiente de evaporación a partir del suelo y  $K_s$  es el coeficiente de stress hídrico. El modelo utiliza datos de suelo, clima, cultivo y sistema de riego. Los datos sobre clima incluyen la temperatura máxima y mínima, velocidad del viento media, precipitación, y  $ET_o$ . El modelo puede calcular la  $ET_o$  utilizando las temperaturas máxima y mínima (Allen et al., 1998, Pereira, 2004, Popova et al., 2006). Los datos sobre el cultivo incluyen la identificación de la duración de las fases del ciclo del cultivo, la evolución de la fracción de cobertura del suelo ( $f_c$ ), del crecimiento de las raíces y la altura del cultivo durante el ciclo cultural, y la selección de los correspondientes  $K_{cb}$  tabulados; el ajustamiento de los  $K_{cb}$  tabulados para las condiciones climáticas específicas de la región de estudio; el cálculo diario de los valores de  $K_e$ ; y el cálculo diario de  $ET_c$  (Rosa et al., 2010). Usando esta metodología el modelo ejecuta la simulación del balance hídrico del suelo, a partir de la cual se derivan propuestas para la programación del riego. Todas observaciones realizadas para la papaya se utilizaron para calibrar el modelo en las condiciones del área experimental y derivar los coeficientes y parámetros del cultivo.

Con el fin de evaluar la bondad de ajuste de las predicciones del modelo SIMDualKc, se realizaron una serie de análisis estadísticos que permiten tener una buena percepción de las tendencias de ajuste en el modelo utilizando una regresión forzada al origen y varios indicadores de ajuste: coeficiente de regresión ( $b$ ), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error medio cuadrático ( $RMSE$ , mm), el error máximo absoluto ( $AAE$ , mm), el error medio relativo ( $ARE$ , %), la eficiencia de modelación ( $EF$ ) y el índice de ajustamiento ( $d_{IA}$ ). Los indicadores seleccionados se basan en las aplicaciones anteriormente realizadas (Cholpankulov et al, 2008; Chaterlán et al., 2010).

## Resultados y discusión

### Calibración

La calibración consistió en la búsqueda de los coeficientes culturales duales y otros parámetros del cultivo para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo reduciendo al mínimo las diferencias entre los valores simulados y observados del contenido de humedad del suelo. En la Tabla 2 se muestran los valores calibrados y en la Fig. 2 la variación del contenido de agua del suelo simulado por el modelo comparada con las observaciones.

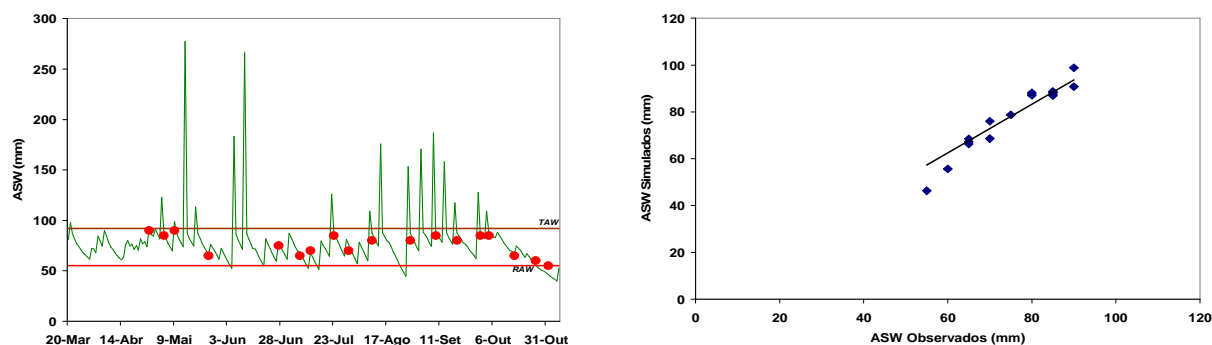
**Tabla 2.** Valores ajustados de coeficiente cultural dual,  $K_{cb}$ , de la fracción de agotamiento de agua en el suelo  $p$ , y  $d$  los parámetros de evaporación del suelo.

Papaya Calibración	
$K_{cb\ inicial}$	0.15
$K_{cb\ medio}$	1.00
$K_{cb\ final}$	0.60
$p\ inicial$	0.40
$p\ desarrollo$	0.40
$p\ medio$	0.40
$p\ final$	0.40
$REW\ (mm)$	8
$TEW\ (mm)$	38
$Z_e\ (mm)$	0.15

A partir de los valores recomendados de  $REW$  y  $TEW$  para suelos arcillosos (Allen et al., 1998) se pudieron calibrar los mismos para este caso de estudio, utilizándose finalmente para la calibración valores de 38 y 8 mm respectivamente con  $Z_e = 0.15$  m. El agotamiento inicial

de la capa evaporable fue establecido en el 10% de TEW y el agotamiento en la profundidad radicular al 10% de TAW.

Los resultados obtenidos referentes a los coeficientes  $K_{cb}$  y  $K_e$  mejoran significativamente en comparación con los  $K_c$  medios (Chaterlán et al., 2010) la estimación de las fracciones de agua de precipitación y de riego utilizadas por la papaya durante el ciclo del cultivo. Además permiten estimar la cuantía de la parte del agua que es consumida por la planta por transpiración y la porción que es consumida por la evaporación desde el suelo, proporcionando estudiar una serie de alternativas para el control de la evaporación del suelo con mulches y coberturas activas.



**Fig. 2.** Comparación entre lo contenido de agua del suelo observado (●) y simulado (—). Regresión entre los valores observados y simulados para el cultivo de papaya en Cuba.

Los resultados de los indicadores de calidad de ajuste calculados se resumen en la Tabla 3. En estos resultados, el coeficiente de regresión ( $b$ ) está próximo de 1.0, entonces la covarianza está cerca de la varianza de los valores observados lo que significa que los valores simulados y observados están estadísticamente cerca; el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es 0.94 lo que indica que casi toda la variación de los valores observados se explica por el modelo. Los valores de los indicadores de errores de estimación residual del agua disponible del suelo, en el caso del error cuadrático medio, RMSE [mm] es de 5.11 mm y el error absoluto promedio, AAE [mm] de 4.39 mm, lo que representa aproximadamente el 5% de TAW, muestran errores de estimación pequeños. Los valores de  $EF$  y de  $D_{IA}$ , cuyos valores máximos son 1.0, muestran un buen ajuste. En su totalidad estos indicadores confirman una buena concordancia entre los valores simulados y observados.

**Tabla 3.** Indicadores de calidad de ajuste del modelo aplicado usando los valores calibrados de REW, TEW,  $Z_e$ ,  $K_{cb}$  y  $p$ .

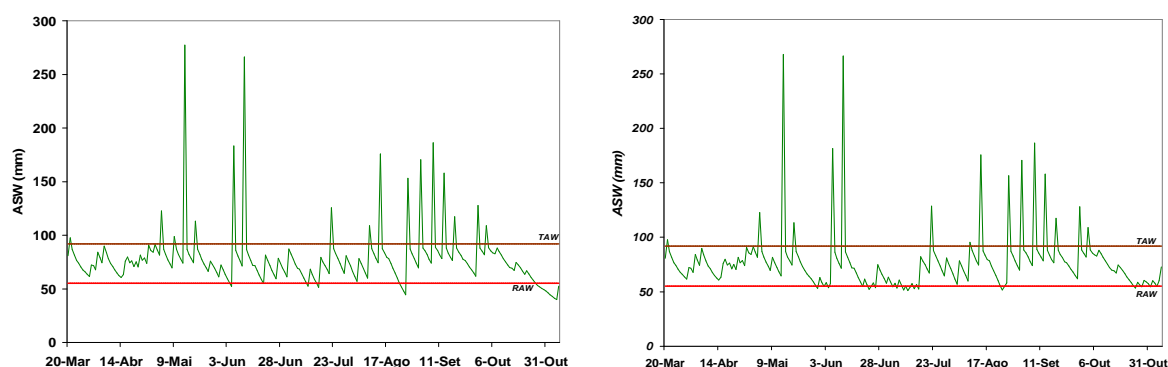
Indicadores	$b$	$R^2$	RMSE (mm)	AAE (mm)	ARE (%)	$EF$	$D_{IA}$
Calibración	1.04	0.94	5.11	4.39	5.3	0.76	0.96

### Calendarios de riego mejorados

Teniendo en cuenta los resultados de la calibración, se pudo asumir que el modelo puede ser utilizado para la generación de calendarios alternativos de riego destinados a mejorar el ahorro de agua y la productividad de la papaya en estas condiciones edafoclimáticas.

Fueron simulados calendarios de riego para mejorar la utilización del agua, controlar las pérdidas por percolación y paralelamente maximizar la productividad del cultivo, en la Figura 3, se hace una representación gráfica de los resultados de estas simulaciones. Se tomó como

lamina de riego fija  $D = 8$  mm. Como se muestra en la Tabla 4, en estas condiciones  $ET_a$  está más próxima de  $ET_c$  indicando que el stress hídrico no es aparente.



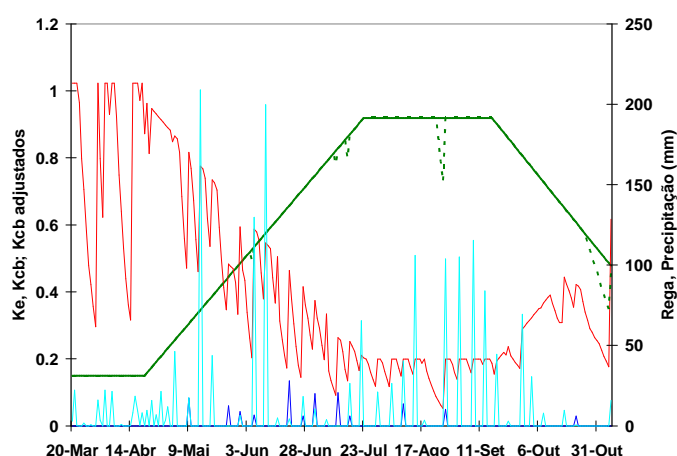
**Figura 3.** Simulaciones de los calendarios de riegos actuales y optimizados.

**Tabla 4.** Calendario de riego actual y optimizado cuando la lamina de riego es 8 mm.

Componentes	Calendarios actuales	Calendarios optimizados
Riego (mm)	156.54	160.0
$ASW_{inic.}$ (mm)	80.83	80.83
$ASW_{fin}$ (mm)	52.66	72.88
Precipitación (mm)	1781.1	1781.1
$ET_m$ (mm)	942.67	948.67
$ET_a$ (mm)	938.46	946.78
$RYL$ (%)	0.4	0.2

### Transpiración y evaporación

Este modelo, SIMDualKc, brinda la posibilidad de realizar cálculos de los componentes de la  $ET_c$ , la evaporación del suelo ( $E$ ) y la transpiración de las plantas ( $T$ ). Los resultados obtenidos en términos de coeficientes de evaporación del suelo  $K_e$ , coeficiente cultural basal  $K_{cb}$ , coeficiente cultural basal ajustado para estrés hídrico,  $K_s K_{cb}$ , riego y precipitación se presentan en la Figura 5.



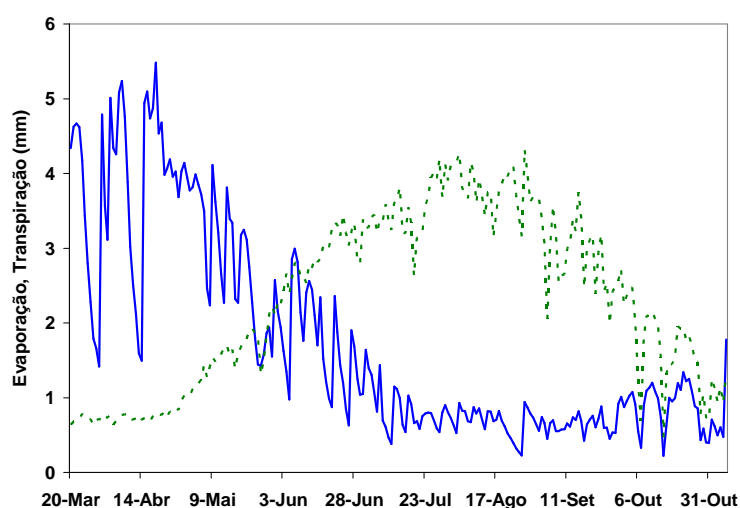
**Figura 4.** Variación del coeficiente de evaporación del suelo,  $K_e$  (—), coeficiente cultural basal,  $K_{cb}$  (—), coeficiente cultural basal ajustado para estrés hídrico,  $K_s K_{cb}$  (---), precipitación (—) y riego (—).

En esta figura 4 se muestra como el coeficiente de evaporación  $K_e$  es elevado en el período inicial, el mismo va disminuyendo en la medida que el cultivo va desarrollándose y queda menos área expuesta a la radiación solar, consecuentemente mostrando en el periodo final una ligera tendencia a aumentar. En este caso, las curvas de  $K_{cb}$  y  $K_{cb}$  ajustado para condiciones de estrés hídrico describen una trayectoria muy próxima. Se destaca la influencia de las abundantes precipitaciones durante todo el ciclo del cultivo.

En la Tabla 5, son presentados los resultados obtenidos en términos de evaporación del suelo y de la transpiración del cultivo en cada etapa del ciclo cultural. En la etapa inicial, la variable evaporación del suelo es el principal componente de  $ET_a$  lo que representa el 84% de  $ET_a$  en este período, esto corresponde al hecho que en esta etapa ocurre la mayor exposición del suelo a la radiación solar debido a la poca cobertura foliar desarrollada por el cultivo y al alto contenido de humedad en la capa de evaporación del suelo relacionado con numerosos eventos de precipitaciones acontecidos, que acumularon valores alrededor de 137 mm. En la fase de crecimiento rápido, el nivel de influencia de ambas variables casi se iguala, la evaporación alcanza el 48 % y la transpiración el 52%. Esta situación va transformándose en los restante periodos, es decir, en la medida que el cultivo va desarrollando su cobertura foliar el peso relativo de la evaporación va disminuyendo y es la transpiración del cultivo quien asume el mayor aporte en el proceso de evapotranspiración. Este comportamiento está estrechamente relacionado a las características propias de la cobertura foliar de este cultivo. Estos resultados pueden apreciarse gráficamente en la Fig. 5.

**Tabla 5.** Evaporación del suelo y transpiración del cultivo de papaya en cada etapa del ciclo vegetativo.

Etapa inicial		Crecimiento rápido		Etapa intermedia		Etapa final		Ciclo completo	
$E$	$T$	$E$	$T$	$E$	$T$	$E$	$T$	$E$	$T$
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
116	22	205	218	37	199	42	98	400	537



**Figura 5.** Variación de la evaporación del suelo (—) y la transpiración del cultivo (· · ·) durante el ciclo vegetativo.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos referentes a los coeficientes  $K_{cb}$  y  $K_e$  mejoran significativamente, en comparación con los  $K_c$  medios, la estimación de las fracciones de agua de precipitación y de riego utilizadas por la papaya durante el ciclo del cultivo, así como permiten la estimación de

la cuantía de la parte del agua que es consumida por la planta por transpiración y la porción que es consumida por la evaporación desde el suelo, proporcionando una serie de alternativas para el control de la evaporación del suelo con mulches y coberturas activas.

Estadísticamente, los resultados obtenidos a partir de las regresiones lineales forzadas al origen y los indicadores de los errores residuales de estimación indican un buen ajuste entre los valores de humedad de suelo estimados por el modelo y los datos observados. Teniendo en cuenta los resultados de la calibración, se puede concluir que el modelo puede ser utilizado para la generación de calendarios alternativos de riego destinados a mejorar el ahorro de agua y la productividad de la papaya en estas condiciones edafoclimáticas. Resulta oportuno destacar que estos son resultados preliminares, los cuales se pretenden precisar en próximos trabajos donde podamos contar con otros ensayos experimentales que permitan realizar la validación de los valores aquí obtenidos.

### **Agradecimientos**

Se agradece al Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric-Cuba) por la facilitación de los datos utilizados en este estudio, al Centro de Engenharia dos Biosistemas (CEER) y a la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT), del Ministerio de la Ciencia y Enseñanza Superior, Lisboa, Portugal por todo el apoyo brindado.

### **Bibliografía**

- Aiyelaagbe, I.O.O., Fawusi, M.O.A. and Babalola, O. 1986. *Growth development and yield of pawpaw (Carica persica L.) 'Homestead selection' in response to soil moisture stress. Plant and Soil* 93: 427-435.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300p.
- Allen, R.G., Clemmens, A.J., Burt, C.M., Solomon, K., O'Halloran, T., 2005a. *Prediction accuracy for projec wide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. J Irrig. Drain. Engng.*, 131: 24-36.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L., 2005b. *FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. J Irrig. Drain. Engng.*, 131: 2-13.
- Campostrini, E. and Yamanishi O.K. 2001. *Estimation of papaya leaf area using the central vein length. Scientia Agricola*, 58(1):39-42
- Campostrini, E. and Glenn, D.M. 2007. *Ecophysiology of papaya: a review. Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4):413-424
- Chaterlán, Y., Hernández G., Paredes, P., López, T., Pereira, L.S., Martínez R., Puig, O., 2010. *Estimation of the Papaya crop coefficients for improving irrigation water management in South of Havana. In: 28<sup>th</sup> International Horticultural Congress "Science and horticulture for people", Lisbon, 22-27 August 2010, Book of abstracts, Volume II (Symposia), pp. 752.*
- Cholpankulov E. D., Inchenkova O. P., Paredes P., Pereira L.S., 2008. *Cotton irrigation scheduling in Central Asia: Model calibration and validation with consideration of groundwater contribution. Irrig. and Drain.* 57: 516-532
- dos Santos, F.S.S., Viana, T.V.A., de Azevedo, B.M., Oliveira, C.W. and Sousa, A.E.C. 2008. *Efeito de diferentes laminas de irrigação na cultura do mamão. Eng. Agric*, 28(4): 673-680.



- Hernández G., Martínez R., Puig O., López T., Sotomayor G. 2003. *Elementos agronómicos para el riego localizado en el cultivo del papayo*. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol 12, No 2, p. 55-60
- Kruger, J.A. and Mostert, P.G. 1999. *Irrigation*. In: Villiers, E.A. (eds) *The cultivation of papaya*. ARC, LNR, South Africa, pp 50-59
- López, T. 1996. *Dinámica del agua en un suelo ferralítico rojo compactado del sur de la provincia La Habana*. Tesis en opción al Título Académico de Maestro en Ciencias Agrícolas, Especialidad en Riego y Drenaje. UNAH- IIRD. C. Habana.
- Marler, T.E. and Clemente, H.S. 2006. *Papaya seedling growth response to wind and water deficit is additive*. HortScience 41(1): 96-98
- Pereira, L.S., 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publ. Europa-América, Lisboa.
- Popova Z., Kercheva M., Pereira L.S., 2006. *Validation of the FAO methodology for computing  $ET_o$  with missing climatic data. Application to South Bulgaria*. Irrigation and Drainage 55(2): 201-215.
- Rosa, R.D., Paredes, P., Rodrigues, G.C., Alves, I., Pereira, L.S., 2010. O modelo SIMDualKc para a simulação da rega e geração de calendários de rega. In: Pereira LS, Mexia JT, Pires CAL (Eds) *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*. Edições Colibri e CEER, Lisboa, pp. 279-300
- Terra de Almeida, F., Sales Marinho, C., de Souza, E.F., Grippa, S., 2003. *Expressão sexual do mamoeiro sob diferentes lâminas de irrigação na região norte fluminense*. Rev. Bras. Frutic. 25(3): 383-385